

УДК 504
ББК Е 081

Л. В. Копылова

аспирант, Забайкальский государственный гуманитарно-педагогический университет им. Н. Г. Чернышевского (Чита, Россия),
e-mail: kopylova.70@mail.ru

Оценка уровня загрязнения почв тяжёлыми металлами и интенсивность поглощения их древесными растениями¹

В работе представлена оценка техногенного загрязнения тяжёлыми металлами (ТМ) почв и древесных видов растений, находящихся на территории г. Читы, п. Первомайский и п. Новоорловск (Забайкальский край), в зоне которых действуют горнорудные комплексы. Рассчитаны коэффициенты техногенной концентрации элементов (K_c), биологического поглощения (КБИ), суммарный показатель загрязнения почв (Z_c), биогеохимическая активность видов (БХА). Степень загрязнённости почв ТМ убывает в ряду п. Первомайский (Забайкальский ГОК) > п. Новоорловск (Новоорловский ГОК) > г. Чита. Почвы в п. Первомайский и п. Новоорловск загрязнены Ni, Zn, Sr, Rb, Ti, Cu и Cr, в г. Чите – Zn, Ni, Sr, Rb, Ti. По уровню Z_c почвы отнесены к категории допустимых, с возможным использованием под растения ($Z_c < 16$). Накопление ТМ древесными видами растений наблюдалось по барьерному типу, в зависимости от биологических особенностей видов и их содержания в почве. Определён вид-концентратор цинка (*Populus balsamifera*). Показана роль древесных растений в очищении окружающей среды от загрязнения тяжёлыми металлами.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, тяжёлые металлы, интенсивность поглощения элементов, почва, древесные виды растений.

L. V. Kopylova

graduate student, Zabaikalsky State Humanitarian Pedagogical University named after N. G. Chernyshevsky (Chita, Russia),
e-mail: kopylova.70@mail.ru

Assessing the Level of Soil Contamination with Heavy Metals and the Intensity of Their Absorption by Woody Plants

The paper presents an assessment of technogenic contamination by heavy metals of soils and woody plant species in the city of Chita, settlement of Pervomaysk and settlement of Novoorlovsk, where there are mining enterprises. The study shows coefficients of technogenic concentration of elements, biological absorption, total rate of soil contamination and biogeochemical activity of species. The ratio of soil contamination decreases in the following way: Pervomaysk (Zabaikalsky Ore Mining and Processing Enterprise) > Novoorlovsk (Novoorlovsky Ore Mining and Processing Enterprise) > Chita. The soils in Pervomaysk and Novoorlovsk settlements are contaminated with Ni, Zn, Sr, Rb, Ti, Cu and Cr. In Chita they are contaminated with Zn, Ni, Sr, Rb, Ti. In terms of Z_c , soils are classified as acceptable, with the possible use of the plants ($Z_c < 16$). Accumulation of heavy metals in woody plants can be described as a barrier type, depending on the biological characteristics of species and their concentration in the soil. The study describes the species that concentrates zinc (*Populus balsamifera*) and shows the role of woody plants in the process of purifying the environment from pollution by heavy plants.

Keywords: environmental pollution, heavy metals, intensity of elements absorption, soil, woody plants.

За последние десятилетия загрязнение окружающей среды приобрело характер экологических бедствий, поэтому особенно обострилась проблема восстановления и улучшения её качества. Состояние среды изменяется под воздействием комплекса факторов

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания вузу Минобрнауки РФ, № 4.3758.2011.

различной природы, среди которых важная роль принадлежит техногенным. Среди многочисленных загрязнителей наибольшую опасность представляют собой ТМ из-за токсичности их избыточных количеств, своей долговечности и практической невыводимости из системы: почва – растения – животные – человек [10; 17]. Почвенный покров является своеобразным индикатором состояния окружающей среды, поэтому изучение роли веществ техногенного происхождения в компонентах природной среды, их воздействие на живые организмы, а также миграции по пищевым цепям является приоритетным для решения задач экологической безопасности этих объектов.

В Забайкальском крае были проведены исследования по аккумуляции ТМ в почве и растениях г. Читы [4; 8; 14]. Наша работа является продолжением исследований территорий, подверженных техногенному загрязнению окружающей среды.

Целью нашей работы явилось выявление особенностей накопления ТМ в почвах и древесных растениях, произрастающих на территориях с повышенной техногенной нагрузкой.

Материалы и методы. Исследования проводились в п. Первомайский (Шилкинский район), п. Новоорловск (Агинский район), на территории которых расположены горно-обогатительные комбинаты (ГОКи) и в г. Чита. Условно чистый (фоновый) участок – с. Беклемишево (Читинский район). Было отобрано 36 проб почвы и 145 растительных образцов (лист, корень, кора стебля) древесных видов растений, наиболее широко представленных в озеленении городских территорий: *Populus balsamifera* L., *Caragana arborescens* Lam., *Ulmus pumila* L., *Malus baccata* (L.) Borkh. [13; 15; 16; 21]. **Отбор проб почвы и растительных образцов, их подготовка к элементному анализу, осуществлялись по общепринятым стандартным методикам [6; 18].** Содержание ТМ в исследуемых образцах определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре S4 Pioneer (Bruker AXS, Germany), на базе лаборатории рентгеновских методов анализа института геохимии СО РАН, г. Иркутск.

Результаты и их обсуждение. При проведении количественного анализа исследуемых проб почв и растительных образцов на наличие ТМ было выявлено, что во всех образцах содержится определённое количество некоторых ТМ: железо, титан, марганец, стронций, рубидий, цинк, хром, медь, никель.

Для оценки интенсивности и степени опасности загрязнения почвы ТМ на исследуемых участках нами был рассчитан коэффициент техногенной концентрации элементов (K_c), который определяется отношением содержания элемента в исследуемой почве ($K_{\text{общ}}$) к содержанию элемента в фоновой почве ($K_{\text{фон}}$) и суммарный показатель загрязнения (Z_c), позволяющий вычислить геохимический (фоновый) уровень загрязнения и сравнить степень загрязнения почвенного покрова [20].

Коэффициенты техногенной концентрации (табл. 1) отражают особенности накопления ТМ в почве п. Первомайский, п. Новоорловск и г. Читы. Опасность загрязнения почв тем выше, чем больше K_c превышает единицу [9], поэтому изучаемые элементы по данному показателю нами разделены на три группы.

Таблица 1

Коэффициент техногенной концентрации тяжёлых металлов (K_c), суммарный показатель загрязнения (Z_c) для почв изучаемых территорий

Район исследования	Металлы									Z_c
	Zn	Fe	Mn	Ni	Cu	Cr	Sr	Rb	Ti	
п. Первомайский	1,66	0,89	0,48	2,33	1,32	1,65	1,67	1,52	1,58	5,74
п. Новоорловск	1,73	0,74	0,49	1,30	1,02	1,03	1,40	1,87	1,36	3,80
г. Чита	1,38	0,54	0,37	1,30	0,70	0,74	1,25	1,16	1,15	2,66

В первую группу отнесли марганец, для которого K_c существенно ниже 1, что прослеживается на всех исследуемых территориях. К этой же группе относится железо в почвах г. Читы. Во вторую группу входит железо, с K_c близким к 1 в почвах п. Первомайский, п. Новоорловск, медь и хром в почвах г. Читы. В третьей группе объединены следующие элементы – цинк, никель, стронций, рубидий, титан на всех исследуемых участках, медь и хром в почвах п. Первомайский и п. Новоорловск, для которых на всех пробных площадках $K_c > 1$, что особенно выражено для никеля в почвах п. Первомайский ($K_c > 2$). Значения коэффициента техногенной концентрации для марганца сходны для большинства пробных площадок, с максимумом для почв п. Новоорловск и п. Первомайский, минимумом – для почв г. Читы. Максимальные показатели коэффициента техногенной концентрации отмечаются для никеля в почвах пробных площадок п. Первомайский, минимальные – для всех изучаемых нами ТМ в почвах г. Читы.

Анализируя полученные данные, мы отмечаем, что степень загрязнённости почв ТМ убывает в ряду п. Первомайский (Забайкальский ГОК) > п. Новоорловск (Новоорловский ГОК) > г. Чита (рис. 1).

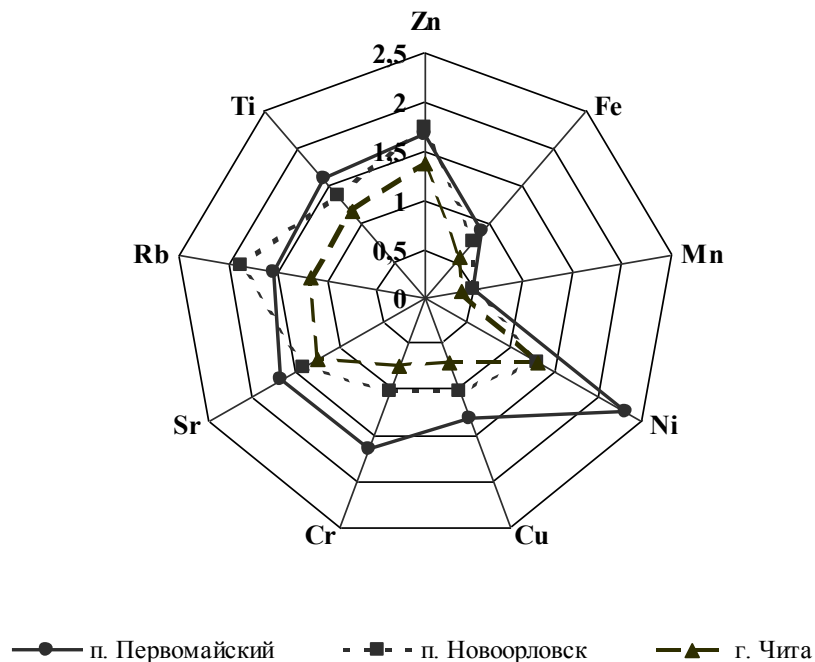


Рис. 1. Спектр загрязнения тяжёлыми металлами почв в зоне воздействия ГОК и черте города

В почвы п. Первомайский и п. Новоорловск в большей степени поступают: Ni > Zn > Sr > Rb > Ti > Cu > Cr, в г. Чите – Zn > Ni > Sr > Rb > Ti. Таким образом, были выявлены приоритетные металлы, в большей степени аккумулирующиеся в почвах исследуемых участков. В перечень приоритетных металлов были включены те металлы, для которых $K_c > 1$.

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) отражает степень загрязнения почв как химическими веществами, так и ТМ. Оценку степени опасности загрязнения почв по показателю Z_c проводили по оценочной шкале на основании общепринятой методики [1]. Уровень загрязнения считается низким, если Z_c находится в пределах 0–16; средним (умеренно опасным), если $Z_c = 16–32$; высоким (опасным), если $Z_c = 32–128$; очень высоким (чрезвычайно опасным), если $Z_c > 128$ [20]. По результатам наших исследований, почвы исследуемых территорий отнесены к категории допустимых с возможным использованием под растения ($Z_c < 16$). Суммарный показатель загрязнения почв выше в п. Первомайский и п. Новоорловске, на территории которых расположены ГОКи.

Наши исследования показали относительно невысокие концентрации ТМ в почвах исследуемых территорий, поэтому более сложно оценить их токсическое действие, оказывающее внешне малозаметное влияние на окружающую среду. Между тем, загрязнение именно такого рода, действуя длительное время, способно вызвать серьёзные сдвиги в существующем в природе биологическом равновесии.

Содержащиеся в почве ТМ поглощаются растениями и вовлекают их в особую форму движения – биологическую миграцию. Каждый элемент выполняет особую физиологическую функцию в растительном организме, и поэтому интенсивность их поглощения не одинакова, растения, как известно, обладают избирательной способностью к накоплению элементов. А. Л. Ковалевский (1991) разделил растения по типу поглощения химических элементов (металлов) на безбарьерные (концентрирующие) и барьерные (неконцентрирующие). Содержание металла в золе безбарьерных растений увеличивается пропорционально содержанию его в среде. В барьерных растениях имеется порог концентрации, выше которого прекращается поглощение элемента, несмотря на увеличение его содержания в среде (почве).

Интенсивность поглощения элементов древесными видами растений оценивали по коэффициенту биологического поглощения *КБП*, который рассчитывается как частное от деления содержания микроэлемента в золе растения на его содержание в корнеобитаемом слое почвы. По интенсивности биологического поглощения все элементы делятся на следующие группы: элементы энергичного поглощения ($КБП = 10-100$); вторая группа – сильного поглощения ($КБП = 1-10$); третья – слабого поглощения и среднего захвата ($КБП = 0,1-1$); четвёртая – элементы слабого захвата ($КБП = 0,01-0,1$); пятая – очень слабого захвата ($КБП = 0,001-0,01$). Если $КБП > 1$, то происходит биологическое накопление, если $КБП < 1$ – биологический захват [7; 11].

По коэффициенту биологического поглощения железо, титан, рубидий во всех изучаемых видах древесных растений отнесены к группе очень слабого захвата ($КБП = 0,001-0,01$). Вероятно, это определяется тем, что накопление данных металлов происходит по барьерному типу. Цинк, никель, медь и стронций отнесены к группе слабого поглощения и среднего захвата ($КБП = 0,1-1$). В органах *C. arborescens*, *U. pumila* и *M. baccata* на всех исследуемых участках *КБП* цинка был ниже, чем в органах *P. balsamifera*. Высокие значения *КБП* цинка на всех исследуемых участках отмечаются только в органах *P. balsamifera*, где интенсивность поглощения цинка оказалась выше ($КБП = 1-10$), что связано с видовой спецификой *P. balsamifera* к аккумуляции металла в условиях техногенной нагрузки. Марганец в изучаемых видах древесных растений отнесён к группе слабого захвата, т. к. *КБП* соответствует $0,01-0,1$. Для хрома отмечается варьирование в накоплении и захвате элемента в органах, в одних случаях металл слабо поглощался и средне захватывался растениями, в других – слабо захватывался.

Таким образом, нами было выявлено, что накопление ТМ древесными видами наблюдалось по барьерному типу, в зависимости от биологических особенностей видов и их содержания в почве. Среди исследуемых видов растений в условиях техногенной нагрузки *P. balsamifera* способен накапливать высокие концентрации цинка, являясь видом-концентратором данного металла. Результаты согласуются с данными других авторов [4; 5; 12; 19].

На основе данных о *КБП* для количественного выражения общей способности растений к увеличению концентрации элементов был рассчитан показатель – биогеохимическая активность вида (*БХА*), который позволяет судить об общей способности растения к увеличению концентрации химических элементов при извлечении их из почвы [2]. Именно по увеличению концентрации можно судить о поглотительной способности древесных растений и их устойчивости к загрязнению почв тяжёлыми металлами. При очень больших концентрациях ТМ в среде у многих растений проявляются защитные механизмы, контролирующие поступление элементов в допустимых пределах, называемых пороговой концентрацией.

По показателю биогеохимической активности древесные виды растений образуют следующий ряд (рис. 2): *P. balsamifera* > *U. pumila* > *C. arborescens* > *M. baccata*. При рассмотрении биогеохимической активности древесных видов растений выявлено, что в условиях фонового участка данный показатель выше, чем в условиях г. Чита, п. Первомайский и п. Новоорловск. Растения контролируют поступление ТМ в допустимых пределах, когда наступает порог концентрации, поглощение элемента прекращается, несмотря на увеличение его содержания в почве.

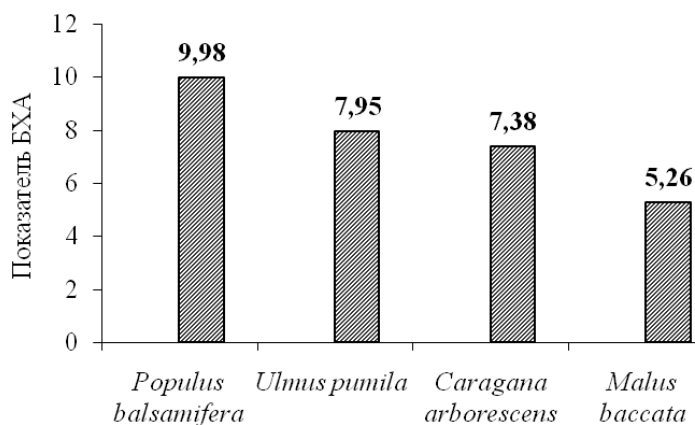


Рис. 2. Биогеохимическая активность древесных видов растений

Результаты показали, что данный показатель (БХА) в экологически благоприятных условиях произрастания растений выше, чем в загрязненных, что согласуется с данными, проведенными ранее с другими видами растений [3].

Более низкие показатели БХА на участках в п. Первомайский и п. Новоорловск, возможно, связаны с защитными механизмами растений к накоплению ТМ, которые формировались длительное время при развитии видов на почвах с повышенным содержанием ТМ.

Таким образом, древесные растения аккумулируют значительные количества ТМ и способны к их выводу из круговорота веществ, поэтому для максимального очищения атмосферы и почвы от ТМ необходимо создавать разновидовые насаждения вблизи различных источников техногенного загрязнения.

Список литературы

1. Большаков В. А., Водяницкий Ю. Н., Борисочкина Т. И., Кахнович З. Н., Мясников В. В. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжёлыми металлами. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1999. 31 с.
2. Будкина С. В. Агроэкологическая оценка фракционного состава подвижных форм тяжёлых металлов дерново-подзолистой супесчаной почвы : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. М., 2011. 27 с.
3. Валеева Г. Р. Роль отдельных факторов в формировании элементного состава растений : автореф. дис. ... канд. хим. наук: 03.00.16. Казань, 2004. 23 с.
4. Войтюк Е. А. Аккумуляция тяжёлых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Чита) : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Улан-Удэ, 2011. 22 с.
5. Гиниятуллин Р. Х., Кулагин А. Ю., Кагарманов И. Р. Содержание некоторых металлов в листьях и ветвях *Populus balsamifera* L. в условиях промышленного загрязнения // Экология. 1998. № 2. С. 94–97.
6. Гончарук Е. И., Сидоренко Г. И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. М. : Медицина, 1986. 320 с.

7. Добровольский В. В. Основы биогеохимии : учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2003. 400 с.
8. Ефименко Е. А., Манукян Е. О. Токсичность почвы городской среды // Альманах современной науки и образования : в 2-х т. Тамбов : Грамота, 2009. № 11 (30). Ч. 1. С. 129–132.
9. Закруткин В. Е., Шишкина Д. Ю. Методика оценки опасности загрязнения почв подвижными формами тяжелых металлов на территории угледобывающих предприятий : учеб.-метод. пособие. Ростов на/Д : ЮФУ, 2011. 54 с.
10. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжёлые металлы в почвах и растениях. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
11. Ковалевский А. Л. Биогеохимия растений. Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ие, 1991. 294 с.
12. Копылова Л. В., Якимова Е. П. Роль древесных растений в улучшении экологических условий города // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Чтения памяти Л. М. Черепнина : материалы пятой Всерос. конф. с междунар. участие : в 2 т. / КГПУ. Красноярск, 2011. Т. 2. С. 115–120.
13. Красноборов И. М. *Ulmaceae* – Ильмовые, вязовые // Флора Сибири. *Salicaceae* – *Amaranthaceae*. Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1992. Т. 5. С. 72.
14. Красноперова Л. В., Ефименко Е. А., Лескова О. А., Якимова Е. П. Накопление тяжелых металлов древесными растениями г. Читы // Проблемы озеленения городов Сибири и сопредельных территорий : материалы междунар. науч.-практ. конф. Чита : Изд-во ЗабГГПУ, 2009. С. 64–67.
15. Курбатский В. И. *Caragana* Lam. – Карагана // Флора Сибири. *Fabaceae (Leguminosae)*. Новосибирск : Наука, 1994. Т. 9. С. 13–15.
16. Курбатский В. И. *Malus* Miller – Яблоня // Флора Сибири. *Rosaceae*. Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1988. Т. 8. С. 25.
17. Лозановская И. Н., Орлов И. Н., Садовникова Л. К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М. : Высш. шк., 1998. 287 с.
18. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / [под ред. Н. Г. Зырина, С. Г. Малахова]. М. : Гидрометеиздат, 1981. 109 с.
19. Прохорова Н. В., Матвеев Н. М., Павловский В. А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара : Изд-во Самарского ун-та, 1998. 131 с.
20. Титова В. И., Дабахов М. В., Дабахова Е. В. Экотоксикология тяжёлых металлов. Н. Новгород : НГСХА, 2001. 135 с.
21. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. С. 896.

Рукопись поступила в редакцию 11.12.2011